

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-083489

(43)Date of publication of application : 28.03.1997

(51)Int.Cl.

H04J 14/00  
H04J 14/02  
G01J 3/28  
G02F 1/35  
H01S 3/07  
H04B 10/08  
H04B 10/14  
H04B 10/06  
H04B 10/04

(21)Application number : 07-231041

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 08.09.1995

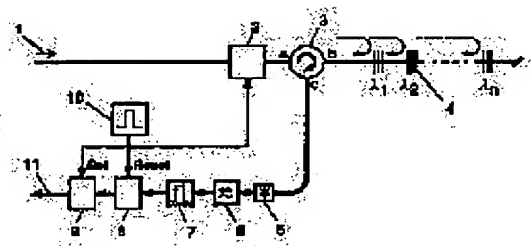
(72)Inventor : ONO TAKASHI

## (54) OPTICAL SPECTRUM ANALYZER AND CONTROL METHOD FOR OPTICAL AMPLIFIER

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a control method for the optical spectrum analyzer and the optical amplifier to detect a wavelength number and a power of each wavelength in the wavelength division multiplex optical communication system.

**SOLUTION:** An optical switch 1 segments a WDM signal light 1 in a pulse form and the pulse light is given to an optical circulator 3 and made incident into plural fiber gratings 4 connected in series and having different Bragg wavelengths. Since a propagation time difference is produced depending on a difference from a reflecting point coming from the wavelength, the WDM signal lights 1 reflected from the plural fiber gratings 4 are optical pulses arranged in a time base direction. The number of wavelengths is measured by counting the number of the pulses. Furthermore, an exciting power of an optical amplifier is controlled by using the information of the number of wavelengths to make the amplification factor control independently of the number of wavelengths.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-83489

(43)公開日 平成9年(1997)3月28日

(51)Int.Cl. <sup>9</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 J 14/00			H 0 4 B 9/00	E
14/02			G 0 1 J 3/28	
G 0 1 J 3/28			G 0 2 F 1/35	5 0 1
G 0 2 F 1/35	5 0 1		H 0 1 S 3/07	
H 0 1 S 3/07			H 0 4 B 9/00	K
審査請求 有 請求項の数 9 O L (全 9 頁) 最終頁に続く				

(21)出願番号 特願平7-231041

(22)出願日 平成7年(1995)9月8日

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 小野 隆志

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

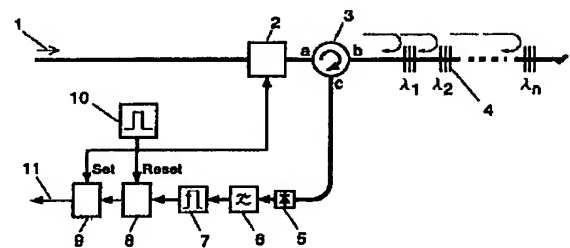
(74)代理人 弁理士 京本 直樹 (外2名)

(54)【発明の名称】 光スペクトルアナライザ装置および光増幅器の制御方法

(57)【要約】

【目的】 波長分割多重(WDM)光通信システムにおける波長数や各波長のパワーを検出するための光スペクトルアナライザ装置、および光増幅器の制御方法を提供する。

【構成】 WDM信号光1を光スイッチ2でパルス状に切り取り、光サーキュレータ3を通した後、直列に接続された異なるブラッグ波長をもつ複数のファイバグレーティング4に入射する。波長による反射点の違いによって伝搬時間差が発生するため、複数のファイバグレーティング4から反射してくるWDM信号光1は、時間軸方向に並んだ光パルスとなる。このパルスの数をカウントすることによって波長数を計測することができる。また、この波長数の情報を用いて光増幅器の励起パワーを制御することにより、波長数によらずに増幅率を一定に制御することができる。



- |                  |           |
|------------------|-----------|
| 1 波長分割多重(WDM)信号光 | 7 コンバータ   |
| 2 光スイッチ          | 8 カウンタ    |
| 3 光サーキュレータ       | 9 ラッチ     |
| 4 ファイバグレーティング    | 10 パルス発振器 |
| 5 光検出器           | 11 波長数出力  |
| 6 ローパスフィルタ       |           |

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】パルスを発生するパルス発振器と、  
前記パルスに応じて信号光をスイッチする光スイッチ  
と、  
少なくとも 3 つの入出力ポートを持ち第 1 のポートに前  
記光スイッチの出力が接続された光サーキュレータと、  
前記第 1 のポートに入射した信号光が出力する前記光サー  
キュレータの第 2 のポートに直列接続されたそれぞれ  
異なるブラッグ波長を持つ複数のファイバグレーティン  
グと、  
前記複数のファイバグレーティングからの反射光が出力  
する前記光サーキュレータの第 3 のポートに接続された  
光検出器とを有することを特徴とする光スペクトルアナ  
ライザ装置。

【請求項 2】前記光検出器の出力を入力するローパスフ  
ィルタと、  
前記ローパスフィルタの出力パルスの数を前記パルス発  
振器の 1 周期にわたってカウントするカウンタとを有す  
ることを特徴とする請求項 1 に記載の光スペクトルアナ  
ライザ装置。

【請求項 3】前記光検出器の出力を入力するローパスフ  
ィルタと、  
前記ローパスフィルタの出力をアナログ信号からデジタル  
信号に変換する A/D 変換器と、  
前記 A/D 変換器の出力を入力する中央演算装置 (C P  
U) とを有することを特徴とする請求項 1 に記載の光ス  
ペクトルアナライザ装置。

【請求項 4】前記複数のファイバグレーティングは、等  
しい反射帯域をもち、等しい間隔で配置され、 $n$  番目  
( $n$  は自然数) のファイバグレーティングのブラッグ波  
長が  $\lambda_0 + (n-1) \Delta \lambda$  (ここで  $\lambda_0$  は使用している  
WDM 信号光を含む波長帯域より短い波長であり、 $\Delta \lambda$   
はあらかじめ決定された波長ステップである) であるこ  
とを特徴とする請求項 1 に記載の光スペクトルアナライ  
ザ装置。

【請求項 5】パルスを発生するパルス発振器と、  
前記パルスに応じて信号光をスイッチする少なくとも 2  
入力ポートと 1 出力ポートを有する光スイッチと、  
前記光スイッチが ON のときに第 1 の入力ポートに入射  
した信号光が出力する出力ポートに直列接続されたそれ  
ぞれ異なるブラッグ波長を持つ複数のファイバグレーテ  
ィングと、  
前記光スイッチが OFF のときに前記複数のファイバグ  
レーティングからの反射光が出力する前記光スイッチの  
第 2 の入力ポートに接続された光検出器とを有すること  
を特徴とする光スペクトルアナライザ装置。

【請求項 6】波長分割多重 (WDM) システムで使用さ  
れる光増幅器の増幅率、出力パワーおよび光帯域特性の  
制御方法であって、光スペクトルアナライザ装置で少な  
くとも前記光増幅器から出力する信号光の波長数を検出

し、前記波長数に応じてあらかじめ設定したパワーとな  
るように励起レーザの出力パワーを制御することを特徴  
とする光増幅器の出力制御方法。

【請求項 7】波長分割多重 (WDM) システムで使用さ  
れる光増幅器の増幅率、出力パワーおよび光帯域特性の  
制御方法であって、光スペクトルアナライザ装置で少な  
くとも前記光増幅器から出力する各波長ごとの信号光の  
パワーを検出し、前記各波長ごとの信号光のパワーの値  
の平均値と分散を計算し、前記分散の値が最小となるよ  
うに前記光増幅器の出力端に接続された光帯域イコライ  
ザの波長特性を制御することを特徴とする光増幅器の出力  
制御方法。

【請求項 8】前記平均値の値があらかじめ設定した値と  
なるよう励起レーザの出力パワーを制御することを特徴  
とする請求項 7 に記載の光増幅器の出力制御方法。

【請求項 9】波長分割多重 (WDM) システムで使用さ  
れる光増幅器の増幅率、出力パワーおよび光帯域特性の  
制御方法であって、光スペクトルアナライザ装置で少な  
くとも前記光増幅器から出力する各波長ごとの信号光の  
パワーを検出し、各信号光の波長とパワーのデータを最  
小 2 乗法で 1 次関数にフィッティングし、フィッティ  
ングによって求められた前記 1 次関数の傾きの値がゼロと  
なるように、励起レーザの出力パワーを制御することを  
特徴とする光増幅器の出力制御方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】波長分割多重 (以下、WDM  
と呼ぶ) 光通信システムにおける波長数や各波長のパワ  
ーを検出するための光スペクトルアナライザ装置、およ  
びこれを用いた光増幅器の出力制御方法に関するもので  
ある。

## 【0002】

【従来の技術】近年、光増幅器の高性能化により、信号  
光を光のまま増幅して長距離伝送する光増幅中継システ  
ムの実用化が進んでいる。さらなる大容量化のために、  
複数の波長の信号光を 1 本の光ファイバで伝送する WDM  
伝送方式が有効である。光増幅器は WDM 信号光を一  
括して増幅できるため、波長数の増加などのアップグレ  
ードが行いやすく、低コスト化も期待される。

【0003】しかし、単に波長数だけを増やすだけで  
は、システム全体のレベル設計がずれてしまうため、各  
光増幅器の出力パワーや増幅率を再調整する必要がある。  
また、何らかの故障で波長数が少なくなった場合も  
同様である。これを自動で行うためには、現在使用され  
ている波長数を監視する必要がある。

【0004】従来、WDM 信号光の波長数や光スペクト  
ルを解析するために、スキャニング・ファブリ・ペロ干  
渉計を用いる方法が知られている (エレクトロニクス・  
レターの第 25 巻 14 号 885-887 頁参照、H. T  
oba, et al., "16-channel Op

tical FDM Distribution/Transmission Experiment using  $\text{Er}^{3+}$ -doped Fibre Amplifier", 1989)。この干渉計は2つのミラーを平行に対向させて配置したもので、共振器の縦モードの整数倍の周波数(波長)の光だけを透過させる。一方のミラーの位置をピエゾ素子などで変化させて、干渉計の間隔を繰り返し走査することにより、光スペクトルを解析することができる。

【0005】また、従来、波長数に変化しても増幅率を一定にするために、後方自然放出光のパワーを検出し、このパワーが一定となるように励起レーザの出力を制御する方法が知られている(電子情報通信学会技術研究報告(信学技報)の光通信システム OCS94-66 参照、中林 他、「ファイバ増幅率制御を用いた光ファイバ増幅器の多波長一括増幅特性平坦化」、1994)。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来の方法では、干渉計の構造上、機械的可動部があるため長期的な信頼性の低下が懸念される。また、エリビウム添加光ファイバ増幅器(EDFA)の帯域である30nm程度を走査するためには、干渉計の共振器長を40 $\mu\text{m}$ 以下にする必要があり製作上も困難であった。

【0007】また、従来の光増幅器の制御方法では、増幅率の制御は可能であるが、波長数や波長のずれなどに関する監視はできなかった。

【0008】本発明の目的は、機械的可動部がなく、小型で安定な動作をする光スペクトルアナライザ装置と、これを用いた光増幅器の出力制御方法をそれぞれ提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記の問題点を解決するために、パルスを発生するパルス発振器と、前記パルスに応じて信号光をスイッチする光スイッチと、少なくとも3つの入出力ポートを持ち第1のポートに前記光スイッチの出力が接続された光サーキュレータと、前記第1のポートに入射した信号光が出力する前記光サーキュレータの第2のポートに直列接続されたそれぞれ異なるブラッグ波長を持つ複数のファイバグレーティングと、前記複数のファイバグレーティングからの反射光が出力する前記光サーキュレータの第3のポートに接続された光検出器とを有することを特徴とする。

【0010】また、前記光検出器の出力を入力するローパスフィルタと、前記ローパスフィルタの出力パルス数を前記パルス発振器の1周期にわたってカウントするカウンタとを有することを特徴とする。

【0011】また、前記光検出器の出力を入力するローパスフィルタと、前記ローパスフィルタの出力をアナログ信号からデジタル信号に変換するA/D変換器と、前記A/D変換器の出力を入力する中央演算装置(CP

U)とを有することを特徴とする。

【0012】また、前記複数のファイバグレーティングは、等しい反射帯域をもち、等しい間隔で配置され、 $n$ 番目( $n$ は自然数)のファイバグレーティングのブラッグ波長が $\lambda_0 + (n-1)\Delta\lambda$ であることを特徴とする。ここで $\lambda_0$ は使用しているWDM信号光を含む波長帯域より短い波長であればよい。また $\Delta\lambda$ はあらかじめ決められた波長ステップであり、チャネル間隔より狭いステップであればよい。

【0013】パルスを発生するパルス発振器と、前記パルスに応じて信号光をスイッチする少なくとも2入力ポートと1出力ポートを有する光スイッチと、前記光スイッチがONのときに第1の入力ポートに入射した信号光が出力する出力ポートに直列接続されたそれぞれ異なるブラッグ波長を持つ複数のファイバグレーティングと、前記光スイッチがOFFのときに前記複数のファイバグレーティングからの反射光が出力する前記光スイッチの第2の入力ポートに接続された光検出器とを有することを特徴とする。

【0014】波長分割多重(WDM)システムで使用される光増幅器の増幅率、出力パワーおよび光帯域特性の制御方法であって、光スペクトルアナライザ装置で少なくとも前記光増幅器から出力する信号光の波長数を検出し、前記波長数に応じてあらかじめ設定したパワーとなるように励起レーザの出力パワーを制御することを特徴とする。

【0015】波長分割多重(WDM)システムで使用される光増幅器の増幅率、出力パワーおよび光帯域特性の制御方法であって、光スペクトルアナライザ装置で少なくとも前記光増幅器から出力する各波長ごとの信号光のパワーを検出し、前記各波長ごとの信号光のパワーの値の平均値と分散を計算し、前記分散の値が最小となるように前記光増幅器の出力端に接続された光帯域イコライザの波長特性を制御することを特徴とする。

【0016】前記平均値の値があらかじめ設定した値となるよう励起レーザの出力パワーを制御することを特徴とする。

【0017】波長分割多重(WDM)システムで使用される光増幅器の増幅率、出力パワーおよび光帯域特性の制御方法であって、光スペクトルアナライザ装置で少なくとも前記光増幅器から出力する各波長ごとの信号光のパワーを検出し、各信号光の波長とパワーのデータを最小2乗法で1次関数にフィッティングし、フィッティングによって求められた前記1次関数の傾きの値がゼロとなるように、励起レーザの出力パワーを制御することを特徴とする。

【0018】(作用)本発明では、ファイバグレーティングはブラッグ波長と一致した波長の光を反射し、それ以外の波長の光は通過させるという特徴を用いている。異なるブラッグ波長をもつ複数のファイバグレーティン

グをある間隔ごとに直列に接続し、パルス状に切り取ったWDM信号を入射すると、波長による反射点の違いによって伝搬時間差が発生する。この結果、複数のファイバグレーティングから反射してくるWDM信号光は、時間軸方向に並んだ光パルスとなる。このパルスの数をカウントすることによって波長数を計測することができる。また、一定の割合だけずれたブラッグ波長のファイバグレーティングを一定の間隔ごとに配置し、反射された各光パルスの強度を精密に測定することにより、光スペクトルを解析することができる。

【0019】さらに、上記のようにして得た波長数の情報を用い、波長数が増加した場合はあらかじめ設定した割合で励起パワーを大きくし、波長数が減少した場合は励起パワーを小さくするように制御を行うことにより、波長数に依存せずに増幅率または各波長の出力パワーを一定に保つことができる。

【0020】また、波長数だけではなく波長ごとの出力パワーを検出し、出力パワーの平均値と平均値からのばらつき（すなわち分散）を計算する。この分散の値が常に最小となるように、光増幅器の出力端に接続した光帯域イコライザを制御することにより、増幅率の波長特性を平坦化することができる。

【0021】また、それぞれの波長の出力パワーのデータを、1次関数にフィッティングし、その傾き（すなわち増幅率の波長特性の傾き）を求める。増幅率の波長特性の傾きは、励起パワーを調整し光増幅器の飽和の深さを変化させることによって制御することができる。すなわち、計算で求めた傾きの値が常にゼロとなるように、励起パワーを制御することによって、増幅率の波長特性を平坦化することができる。

【0022】

【発明の実施の形態】

（実施例1）以下、本発明の実施例について詳細に説明する。

【0023】図1は、本発明の第1の実施例の構成を示す。第1の実施例では、本発明を8チャンネルWDM、光強度変調—直接検波受信（IM-DD）方式における波長数監視装置に適用したものである。それぞれ10Gb/sで変調された1546nmから1560nmまで2nmの波長間隔の信号光を8波長多重して得たWDM信号光1を、音響光学効果（AO）を用いた光スイッチ2に入力する。パルス幅5ns、繰り返し200nsでパルス発振しているパルス発振器10の出力を光スイッチ2に入力し、WDM信号光1をパルス幅5nsのパルス状のWDM信号光にスイッチする。このパルスWDM信号光を光サーキュレータ3のaポートに入力する。この光サーキュレータ3はa、b、cの3つの入出力ポートを持ち、aから入力した光はbへ出力され、bから入力した光はcへ出力される。光サーキュレータ3のbポートに複数のファイバグレーティング4を直列に接続し、パル

スWDM信号光を入力する。このファイバグレーティングは、通常の光ファイバ中に紫外線レーザー光で周期的な屈折率変化を書き込んだものである。そして、この屈折率変化の間隔によって決まるブラッグ波長と等しい波長の光を反射し、その他の波長の光は透過させる光フィルタの特性を持つ。本実施例では、信号光波長と等しい1546nmから1560nmまで2nm波長間隔で、それぞれ異なるブラッグ波長を持つファイバグレーティングを8箇所、1本の光ファイバに書き込んだ。また、それぞれのファイバグレーティングの書き込み位置は、2m間隔とした。それぞれの反射光帯域は約0.5nmであった。また、直列接続されたファイバグレーティングの最後の端は斜め研磨し、不要な反射光が戻らないように光終端した。この結果、例えば、1546nmの信号光は最初に反射し、続いて1548nmの信号光が光ファイバを2m進んだ後に反射され、光サーキュレータ3のcポートからそれぞれ出力される。

【0024】この結果、図2に示す動作原理の説明図のように、2nmだけ波長の異なる信号光間では20nsの遅延時間差が発生し、パルスWDM信号光は波長ごとに時間軸方向に並んだ光パルス列となる。この光パルス列を光検出器5で電気信号に変換し、ローパスフィルタ6で10Gb/sの成分を取り除き、電気パルス列に変換する。この電気パルス列をコンパレータ7で矩形形状のパルス列に波形整形し、カウンタ8に入力する。カウンタ8は、パルス発振器10の出力パルスがLowレベルの間だけパルスの数をカウントし、Highレベルでリセットする。このカウンタ8の出力を、ラッチ9を用いてパルス発振器10の出力パルスのHighレベルでラッチすることによって、パルスの数を出力することができる。このパルスの数が波長数と等しいため、WDMシステムで使用されている波長数を常に監視することができる。

【0025】本実施例の構成で動作させた結果、安定に動作し、ラッチ9は波長数である8を出力した。また、波長数を変化させても、それに対応した数を出力した。この結果、本発明の有効性が確認された。

【0026】本実施例では、あらかじめ設定した信号光の波長数と等しい数のファイバグレーティングを使用したが、これに限定されるものではない。将来のアップグレードを見越して、未使用の波長帯のファイバグレーティングをあらかじめ書き込んでおいてもよい。波長間隔も等しく設定する必要はない。また、波長数を監視するだけであれば、ファイバグレーティングの書き込み位置はそれほど厳密に設定する必要はない。

【0027】（実施例2）図3は、本発明の第2の実施例の構成を示す。第2の実施例では、本発明を10Gb/s、8チャンネルWDMシステムにおいて光スペクトルを解析するための光スペクトルアナライザに適用したものである。

10

20

30

40

50

【0028】本実施例では、等しい反射帯域を有し、それぞれ一定の割合でずれたブラグ波長を有する複数のファイバグレーティングを使用する。反射帯域は0.5nm、ブラグ波長は1530nmから1565nmまで0.5nmステップで、50cmおきにファイバグレーティングを1本の光ファイバに書き込んだ。また、パルス発振器10のパルス幅は5nsとし、50cmの往復の伝搬時間差と等しく設定した。この結果、1530nmから1565nmまでの波長範囲を波長分解能0.5nmで、隙間なく解析することができる。また、ファイバグレーティングから反射される光パルス列の強度を測定することにより、波長数だけではなく各信号光の波長、波長毎のパワーなどを解析することができる（図4の動作原理を説明する図参照）。このために、ローパスフィルタ6の出力パルス列の強度を、A/D変換器12で時間的にサンプリングしながら測定し、デジタル信号に変換する。このデジタル信号データは中央演算装置（CPU）13に入力され、パルス発振器10の出力の一周期の間のデータを1セットとして処理される。すなわち、時間軸の並びが波長軸に相当し、パルス発振器10の出力パルスを時間基準としてデータの並びを光スペクトルとみなすことができる。

【0029】上記の構成で動作させた結果、8チャンネルのWDM信号光の光スペクトルを得ることができた。また、このデータから、ピークの数から波長数を、各ピークの時間（データの順番）から波長を、各ピークの値からパワーなどをそれぞれ解析することができた。これにより、本発明の有効性が確認された。

【0030】（実施例3）図5は本発明の第3の実施例の構成を示す。第3の実施例では、光スイッチと光サーキュレータの動作を一体化した2入力1出力（2×1）光スイッチを用いたものである。構成および動作は第2の実施例と類似している。2×1光スイッチ15はニオブ酸リチウム基板上に近接して作られた2本の光導波路で構成されており、それぞれの光導波路間での光のカップリング部分に電界を印加することによって信号光をスイッチすることができる。この2×1光スイッチ15は、パルス発振器10の出力がHighのときaポートとbポートとが、LowのときcポートとbポートとがそれぞれONとなる。すなわち、パルス発振器10の出力がHighのときだけWDM信号光1は通過し、LowのときWDM信号光1は遮断される。一方、パルス発振器10の出力がLowのとき複数のファイバグレーティング4からの反射光はcポートへ出力される。この結果、WDM信号光1のパルス化と、反射光の分離が一つの素子で同時に実現することができる。

【0031】上記の構成で動作させた結果、第2の実施例と同様に安定に動作し、8チャンネルのWDM信号光の光スペクトルを得ることができた。これにより、本発明の有効性が確認された。

【0032】（実施例4）図6は本発明の第4の実施例の構成を示す。第4の実施例では、実施例1で詳細に説明した光スペクトルアナライザ装置を光増幅器の出力パワー制御方法に適用したものである。波長数の検出方法は実施例1と同様である。光増幅器入力端18に入力したWDM信号光1と励起レーザ25から出力される励起光とをWDMカップラ19で合波し、エルビウム添加光ファイバ20に入力する。エルビウム添加光ファイバ20で増幅されたWDM信号光1を光アイソレータに通し、光カップラ22で2分岐する。一方は光増幅器出力端23から出力として取り出し、他方は光スペクトルアナライザ部に入力する。光スペクトルアナライザ部は実施例1と同様であり、波長数が検出され、ラッチ9から出力される。制御器16は波長数出力11に比例した電圧を出力する。この電圧を制御信号17として励起レーザ駆動回路24に入力する。励起レーザ駆動回路24は入力された制御信号17に応じて、波長数が増加した場合は励起レーザ25の駆動電流を大きく、波長数が減少した場合は駆動電流を小さくするように動作する。この結果、波長数に依存せずに増幅率または各波長の出力パワーを一定に保つことができる。

【0033】上記の構成で動作させた結果、安定に動作し、波長数を変化させても増幅率は一定に制御され、各波長の出力を一定に保つことができた。これにより、本発明の有効性が確認された。

【0034】（実施例5）図7は本発明の第5の実施例の構成を示す。第5の実施例では、第2の実施例で詳細に説明した光スペクトルアナライザ装置を光増幅器の波長特性の平坦化制御方法に適用したものである。図7では、前方励起光増幅器と後方励起光増幅器の間に光帯域イコライザ26を配置した2段構成の光増幅器を用いた。光帯域イコライザ26は光導波路で作製されたマッハツエンダ干渉計型光フィルタであり、波長に対して周期的な透過特性をもっている。マッハツエンダ干渉計の2つのポートへの分岐比と位相を調整することにより、光フィルタの透過波長特性の中心波長と消光比を任意に調整することができる。上記の2段構成の光増幅器の出力の一部を分岐して、実施例2で詳細に説明した光スペクトルアナライザで各波長ごとのパワー（またはピーク値）を検出する（図8参照）。図8は光増幅器の波長特性の一例と光帯域イコライザ26の透過波長特性を示す図である。

【0035】A/D変換器12でデジタル信号に変換された各波長ごとのパワーのデータは、中央演算装置（CPU）13で平均値と分散が計算される。平均値は1波長あたりの光増幅器の出力パワーと等しい。この平均値があらかじめ設定した値と一致するように励起レーザ25の出力パワーを制御することによって、波長数に依存せずに増幅率を一定に保つことができる。このとき、全体の出力パワーは波長数に応じて変化しているが、1波

長あたりの出力パワー（または増幅率）は一定に保たれている。

【0036】また、上記で計算した分散は平均値からのピークパワーのばらつきの大きさをあらわしており、増幅率の波長依存性の大きさと等しい。通常使用されている波長帯での光増幅器の波長特性は、右上がりや右下がりとして表現される1次関数的な特性、または上に凸や下に凸として表現される2次関数的な特性を持っている（図8、図9参照）。図9は、光増幅器の波長特性の一例として励起パワーを変化させたときの波長特性の変化を表す図である。これらの波長特性はマッハツエンダ干渉計型光フィルタの透過波長特性で等化することができ、光増幅器の波長特性を平坦化することができる。本発明では、上記の分散の値が常に最小となるように光帯域イコライザ26を制御することにより、安定な平坦化制御を実現できる。また、光増幅器の波長特性が2つ以上のピークを持つような場合でも、マッハツエンダ干渉計を多段に接続した光帯域イコライザを用いることにより平坦化は可能である。

【0037】上記の構成で動作させた結果、安定に動作し、波長数を変化させても増幅率は一定に制御されたとともに、波長特性が平坦となるように制御することができた。これにより、本発明の有効性が確認された。

【0038】（実施例6）図10は本発明の第6の実施例の構成を示す。第6の実施例では、第5の実施例と同様に、本発明を光増幅器の波長特性の平坦化制御方法に適用したものであり、さらに監視情報の転送機能も持たせたものである。

【0039】光増幅器の波長特性が1次関数で近似できることがあらかじめわかっている場合は、光帯域イコライザ26を用いなくても、励起レーザ25の出力パワーを制御するだけで波長特性を平坦化することができる。これは、エルビウム添加光ファイバ増幅器が以下のような特性を持っているためである。すなわち、光増幅器へ入力する励起パワーを小さくすると長波長側の増幅率が上がる右上がりの波長特性となり、励起パワーを大きくすると長波長側の増幅率が下がる右下がりの波長特性となる。上記で検出された波長とパワーの関係のデータを、中央演算装置（CPU）13で最小2乗法を用いて1次関数にフィッティングし、その傾きを計算する。この傾きの値がゼロとなるように励起レーザ25の出力パワーを制御することにより波長特性を平坦化することができる。ただし、励起パワーを制御すると波長特性の傾きを制御することができるが、光増幅器の出力パワーも同時に変化してしまう。これを避けるために、波長数に応じて、光増幅器の出力パワーがあらかじめ設定した値となるように可変光減衰器27を制御する。

【0040】また、光増幅器を用いて多段に中継伝送する光増幅中継伝送システムでは、各光増幅中継器における波長数、各波長ごとのパワー、励起レーザの駆動電流

などの監視情報やアラーム信号を転送する必要がある。このために、これら監視情報は副搬送波（サブキャリア）でWDM信号光を変調することによって端局まで伝送される。送信すべき監視制御信号30で電圧可変発振器（VCO）31を駆動し、VCO31の出力である副搬送波を周波数変調（FSK）変調する。この信号で励起レーザの駆動電流を変調することにより励起パワーが変調され、その結果、WDM信号光1の強度が副搬送波変調される。受信端局ではWDM信号光のうち任意の1波を光フィルタで切り出し、光検出器で受光して電気信号に変換した後、FSK信号を復調する。端局から中継器に指示を出す場合には、任意の1波の信号光を同様に副搬送波変調し伝送する。これにより、監視制御信号30を転送することができ、システムの運用状況の監視と遠隔操作が可能となる。

【0041】上記の構成で動作させた結果、安定に動作し、波長数を変化させても増幅率は一定に制御されたとともに、波長特性が平坦となるように制御することができた。また、監視情報を受信し、転送することができた。これにより、本発明の有効性が確認された。

【0042】以上のように、本発明では、機械的可動部がなく、小型で安定な動作をする光スペクトルアナライザ装置を提供することができた。また、この光スペクトルアナライザ装置をもちいることにより、光増幅器の出力パワーと波長特性を制御する方法を提供することができた。

【0043】以上、本発明の実施例を6つ説明したが、本発明はこれら実施例に限定されるものではなく、本発明の範囲内で種々の変形、変更が可能なことはもちろんである。例えば、光スイッチ2として音響光学効果（AO）光スイッチを用いたが、マッハツエンダ型の光スイッチや光変調器、半導体吸収型光変調器など、他のいかなる種類の光スイッチまたは光変調器の使用も可能である。

【0044】また、光サキュレータのかわりに、光カップラと光アイソレータで構成することも可能であり、入射光と反射光を分離できる素子であればいかなる素子でも使用できる。

【0045】異なるブラッグ波長のファイバグレーティングは必ずしも連続的に配置する必要はなく、順序がわかればどのような順序でも良い。また、波長数を監視するだけの用途であれば順序は問題にならない。また、ブラッグ波長を連続的にシフトさせたチャープドファイバグレーティングの使用も可能である。

【0046】光増幅器としてエルビウム添加光ファイバ増幅器を用いたが、半導体光増幅器や他の元素（例えば、プラセオジウム、イットリビウム、ネオジウムなどの希土類元素）を添加した光ファイバ増幅器、ラマン光増幅器など、いかなるタイプの光増幅器の使用も可能である。



【0047】光帯域イコライザ26としてマッハツエンダ型光フィルタを用いたが、誘電体多層膜光フィルタ、音響光学効果(AO)光フィルタ、グレーティングを用いた光フィルタなど、外部信号によって波長特性を制御できる光フィルタであればいかなるタイプの光フィルタでも使用することができる。

【0048】監視制御信号30の伝送にFSK副搬送波変調を用いたが、振幅変調(ASK)、位相変調(PSK)など主信号に大きな劣化を引き起こさなければ他のいかなる変調方式の使用も可能である。また、副搬送波変調に限らず、監視信号専用の波長を用意してベースバンド変調(通常の強度変調も含む)して、波長多重により伝送することも可能である。

【0049】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、機械的可動部を有さない小型な装置で光スペクトルを解析することができる。また、波長数によらずに増幅率を一定に制御し、波長特性を平坦化することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施例の構成図である。

【図2】第1の実施例の動作原理の説明図である。

【図3】第2の実施例の構成図である。

【図4】第2の実施例の動作原理の説明図である。

【図5】第3の実施例の構成図である。

【図6】第4の実施例の構成図である。

【図7】第5の実施例の構成図である。

【図8】光増幅器の波長特性の一例と光帯域イコライザ26の透過波長特性を示す図である。

【図9】光増幅器の波長特性の一例と励起パワーを変化させたときの波長特性の変化を表す図である。

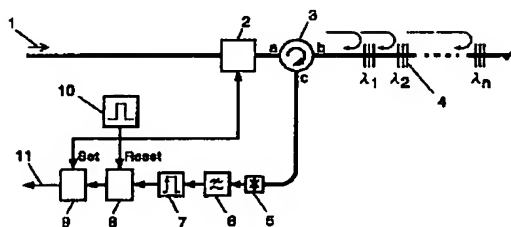
【図10】第6の実施例の構成図である。

【符号の説明】

- 12
- \* 1 波長分割多重(WDM)信号光  
2 光スイッチ  
3 光サーキュレータ  
4 ファイバグレーティング  
5 光検出器  
6 ローパスフィルタ  
7 コンパレータ  
8 カウンタ  
9 ラッチ  
10 パルス発振器  
11 波長数出力  
12 A/D変換器  
13 中央演算装置(CPU)  
14 データ出力  
15 2×1光スイッチ  
16 制御器  
17 制御信号  
18 光増幅器入力端  
19 WDMカップラ  
20 20 エルビウム(Er)添加光ファイバ  
21 光アイソレータ  
22 光カップラ  
23 光増幅器出力端  
24 励起レーザ駆動回路  
25 励起レーザ  
26 光帯域イコライザ  
27 可変光減衰器  
28 復調器  
29 受信監視制御信号  
30 送信監視制御信号  
31 電圧可変発振器(VCO)

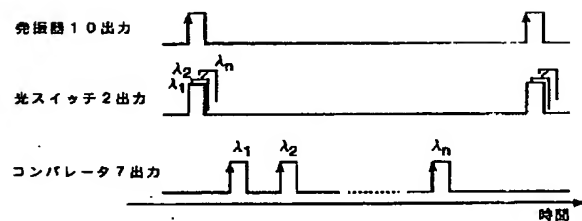
\*

【図1】



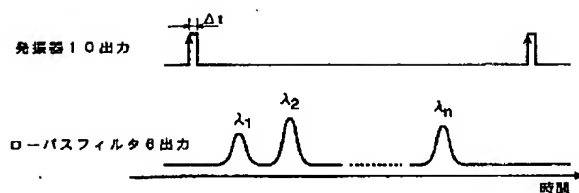
- |                  |           |
|------------------|-----------|
| 1 波長分割多重(WDM)信号光 | 7 コンパレータ  |
| 2 光スイッチ          | 8 カウンタ    |
| 3 光サーキュレータ       | 9 ラッチ     |
| 4 ファイバグレーティング    | 10 パルス発振器 |
| 5 光検出器           | 11 波長数出力  |
| 6 ローパスフィルタ       |           |

【図2】

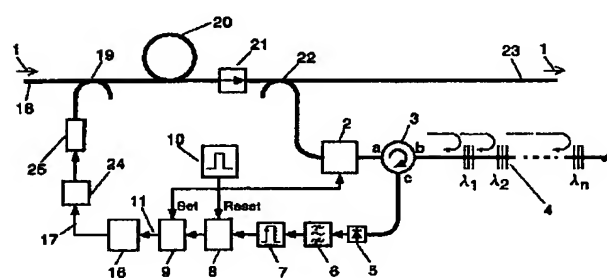




【图 4】

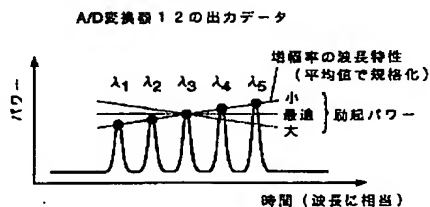


- 【図 6】

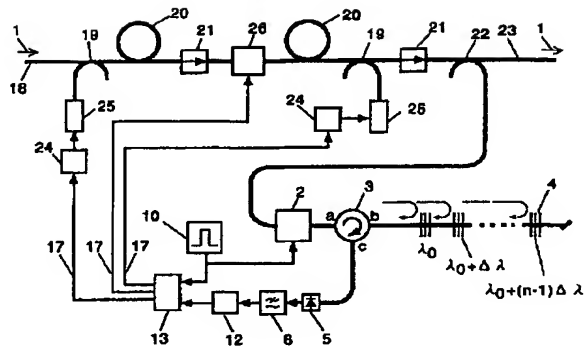


- |    |                |    |                      |
|----|----------------|----|----------------------|
| 1  | 波長分割多重(WDM)信号光 | 16 | 制御器                  |
| 2  | 光スイッチ          | 17 | 制御信号                 |
| 3  | 光サーキュレータ       | 18 | 光増幅器入力端              |
| 4  | ファイバグレーティング    | 19 | WDMカップラ              |
| 5  | 光検出器           | 20 | エルビウム(Er)添加<br>光ファイバ |
| 6  | ローパスフィルタ       | 21 | 光アイソレータ              |
| 7  | コンパレータ         | 22 | 光カップラ                |
| 8  | カウンタ           | 23 | 光増幅器出力端              |
| 9  | ラッチ            | 24 | 励起レーザ駆動回路            |
| 10 | パルス発振器         | 25 | 励起レーザ                |
| 11 | 波長数出力          |    |                      |

【图 9】

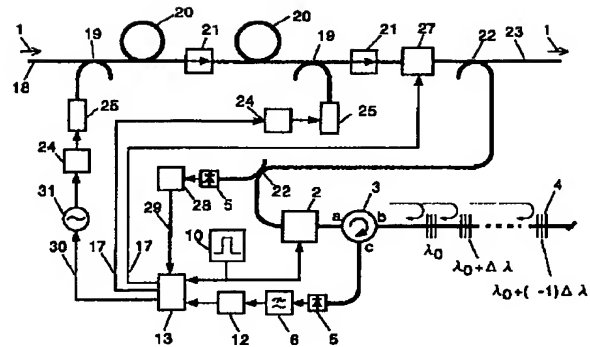


【図7】



- |                  |                     |
|------------------|---------------------|
| 1 波長分割多重(WDM)信号光 | 17 制御信号             |
| 2 光スイッチ          | 18 光増幅器入力端          |
| 3 光サーキュレータ       | 19 WDMカップラ          |
| 4 ファイバグレーティング    | 20 エルビウム(Er)添加光ファイバ |
| 5 光検出器           | 21 光アイソレータ          |
| 6 ローパスフィルタ       | 22 光カップラ            |
| 10 パルス発振器        | 23 光増幅器出力端          |
| 12 A/D変換器        | 24 励起レーザ駆動回路        |
| 13 中央演算回路(CPU)   | 25 励起レーザ            |
|                  | 26 光帯域イコライザ         |

【図10】



- |                  |                     |
|------------------|---------------------|
| 1 波長分割多重(WDM)信号光 | 20 エルビウム(Er)添加光ファイバ |
| 2 光スイッチ          | 21 光アイソレータ          |
| 3 光サーキュレータ       | 22 光カップラ            |
| 4 ファイバグレーティング    | 23 光増幅器出力端          |
| 5 光検出器           | 24 励起レーザ駆動回路        |
| 6 ローパスフィルタ       | 25 励起レーザ            |
| 10 パルス発振器        | 27 可変光減衰器           |
| 12 A/D変換器        | 28 復調器              |
| 13 中央演算回路(CPU)   | 29 受信監視制御信号         |
| 17 制御信号          | 30 送信監視制御信号         |
| 18 光増幅器入力端       | 31 電圧可変発振器(VCO)     |
| 19 WDMカップラ       |                     |

フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>

H 0 4 B 10/08  
10/14  
10/06  
10/04

識別記号 庁内整理番号

F I  
H 0 4 B 9/00

技術表示箇所

S